



UNITE DE RECHERCHE
INRIA-ROCQUENCOURT

Institut National
de Recherche
en Informatique
et en Automatique

Domaine de Voluceau
Rocquencourt
B.P. 105
78153 Le Chesnay Cedex
France
Tél. (1) 39.63.55.11

Rapports Techniques

N° 98

LES OUTILS GRAPHIQUES DE LA BIBLIOTHEQUE MODULEF

Bruno MULLER

AOUT 1988



LES OUTILS GRAPHIQUES DE LA BIBLIOTHEQUE MODULEF

Bruno MULLER

I.N.R.I.A

RESUME :

Ce rapport a pour but de présenter les possibilités de post-traitement graphiques disponibles dans la bibliothèque **MODULEF**.

Après avoir rappelé les fonctions des différents préprocesseurs de visualisation bidimensionnels, tridimensionnels et spécifiques, nous montrons à travers plusieurs exemples l'intérêt de tels outils graphiques pour l'exploitation des résultats issus de calculs numériques.

THE GRAPHICS TOOLS OF THE MODULEF LIBRARY

ABSTRACT :

The purpose of this report is to describe the graphics capabilities of the finite element library **MODULEF**.

After a survey of the functions of the bidimensionnal, tridimensionnal and specific préprocessors, we present several examples in order to show the interest of such graphics tools for any exploitation of numerical results.

Mots Clés: Graphique, Logiciel, Préprocesseur, Visualisation

PLAN

A. INTRODUCTION

B. PREPROCESSEURS GRAPHIQUES

B.I VISUALISATION BIDIMENSIONNELLE

1. maillage
2. champ scalaire
3. champ vectoriel
4. champ tensoriel
5. options communes
6. utilisation

B.II VISUALISATION TRIDIMENSIONNELLE

1. maillage
2. champ scalaire
3. champ vectoriel
5. options communes
6. utilisation

B.III UTILITAIRES SPECIFIQUES

1. profil d'une matrice
2. tracé de courbes $y = f(x)$
3. tracé d'une application de R^2 dans R , $z = f(x,y)$
5. options communes
6. utilisation

C. IMPLEMENTATION ET DEVELOPPEMENTS EN COURS

D. EXEMPLES

A. INTRODUCTION

Au cours des dix dernières années, dans le cadre de ses activités de conception et de réalisation d'une bibliothèque "éléments finis", le projet MODULEF a développé un code de calcul pour résoudre des problèmes d'ingénieries très variés (en structure, en fluide, en thermique,). C'est ainsi que les fonctions essentielles de tout code, à savoir:

- la création des informations nécessaires à la description du système physique étudié.
- la résolution des équations du modèle mathématique qui représente le système physique étudié.

ont été résolues et présentent une grande facilité d'utilisations interactives.

Le récent développement de stations de travail a suscité un intérêt croissant pour les logiciels de visualisations graphiques dans le monde de l'industrie et de la recherche. Ces logiciels permettent des gains de temps importants dans l'analyse des résultats et font du post-traitement graphique une fonction essentielle au même titre que la création des informations et la résolution des équations.

Ainsi, la mise en place d'une bibliothèque graphique dans le code MODULEF a pris forme en 1987. Celle-ci est constituée par:

- Des préprocesseurs graphiques écrits en Fortran 77. Ces préprocesseurs sont essentiellement développés pour l'exploitation des résultats numériques issus de la méthode des éléments finis. Les résultats issus d'un calcul effectué grâce au code MODULEF sont stockés dans des structures de données (S.D); par suite ils sont directement exploitables par ces préprocesseurs. Pour visualiser des résultats obtenus par d'autres moyens, il suffit de construire les structures de données associées dont la description est fournie dans le rapport Modulef n° 2 [2].
- Le logiciel graphique FORTRAN 3D [3]. Parmi le grand nombre de logiciels graphiques existants, ce choix a été motivé par:

Un souci de portabilité. L'étude des différents logiciels graphiques présents sur le marché n'a pas permis d'en sélectionner un qui vérifie totalement cette propriété. Le fait que FORTRAN 3D soit un logiciel propriété de l' INRIA nous a permis de résoudre ce problème. En effet en l'incorporant à la bibliothèque MODULEF les problèmes de communication avec les différents utilisateurs se trouvent résolus.

La présence d'Eric Saltel, un des concepteurs de FORTRAN 3D, dans l'équipe MODULEF. Elle nous assure une parfaite maîtrise du produit et nous permet de le faire évoluer pour satisfaire aux nouvelles demandes.

Après deux années d'efforts il nous paraît maintenant nécessaire que tous les utilisateurs potentiels examinent les outils actuels existants pour en apprécier les possibilités et en définir les évolutions souhaitables. C'est pourquoi nous vous présentons, dans ce papier, les possibilités de post-traitement graphiques contenues actuellement dans le code MODULEF.

Seront abordés :

- les préprocesseurs de visualisation bidimensionnelle,
- les préprocesseurs de visualisation tridimensionnelle,
- les utilitaires spécifiques;

Des exemples illustrant leurs fonctions et leurs utilisations seront donnés en annexe. Enfin nous donnerons un aperçu des développements en cours actuellement dans le projet (vos remarques seront alors les bienvenues).

B. PREPROCESSEURS GRAPHIQUES

B.I. VISUALISATION BIDIMENSIONNELLE.

Des illustrations associées aux différentes possibilités décrites ci-dessous sont fournies en annexe

1. La représentation d'un maillage:

Le maillage peut être constitué d'un ensemble quelconque d'éléments 2D, soit surfaciques (triangles, quadrangles), soit linéiques (segments).

Quelques possibilités:

- la représentation de tout ou partie du maillage (cf figure n°1), de la frontière géométrique ou d'une frontière référencée , en mode classique ou avec un shrink (rétrécissement des éléments autour de leur centre de gravité) (cf figure n° 2),
- l'affichage des numéros des points, de ceux des noeuds ou des éléments,
- l'affichage des numéros de référence des points, des noeuds ou des arêtes,
- l'affichage des numéros de sous-domaine (cf figure n° 1).
- la vérification de la qualité du maillage.
- la modification interactive d'un maillage (déplacement d'un point).

2. Représentation d'un champ scalaire:

- Sous la forme d'isovaleurs, avec une table de valeurs-couleurs associées.

Les isovaleurs sont représentés soit aux traits, soit en remplissage de zone (cf figures n° 3 et 4).

Un certain nombre de paramètres, liés à la représentation graphique, permettant de modifier la représentation sont accessibles à l'utilisateur. Ainsi on peut:

- Modifier le nombre d'isovaleurs,
- Modifier l'intervalle de représentation des valeurs. Cet intervalle de valeurs peut être défini entre le minimum et le maximum du champ ou compris entre deux valeurs données par l'utilisateur (cf figure n° 5); de plus celui-ci peut fournir explicitement la liste des valeurs à dessiner,
- Choisir différents spectres de couleurs parmi ceux qui sont prédéfinis (cf figure n° 5).
- Associer une valeur à chacune des huit couleurs de base prédéfinies.

- Le long d'une droite.

Cette opération consiste à couper le maillage et à représenter le champ scalaire le long de cette droite (cf figure n°6). Cette droite est définie par saisie à la souris ou au curseur de deux points sur le maillage. L'utilisateur a la possibilité de définir une légende sur sa courbe.

- La dernière représentation possible actuellement d'un champ scalaire est la visualisation du flux normal à une arête (cf figure n°7).

Ces différentes représentations utilisent un champ scalaire défini soit aux noeuds d'un élément fini, soit à l'intérieur d'un élément.

3. Représentation d'un champ vectoriel:

- Visualisation d'un champ de déplacement par le dessin de la déformée du maillage (cf figure n° 10). Le coefficient de déformation est ajustable par l'utilisateur.

- Visualisation d'un champ de vitesse par le dessin de flèches qui indiquent les directions et les intensités des vecteurs. La forme ainsi que la longueur de la plus grande flèche représentée est modifiable (cf figure n° 8).

4. Représentation d'un champ tensoriel:

- Visualisation du champ des contraintes issues d'un calcul d'élasticité définies dans un élément en dessinant:

- les contraintes principales,
- les iso-contraintes définies à partir d'un critère de Tresca ou de Von Mises (cf figure n°9).

5. Options communes:

Quel que soit le type d'illustration choisie, une initialisation par défaut des options permet l'affichage instantané d'une première image de l'objet.

Plusieurs visualisations peuvent souvent être obtenues simultanément. Sur une même image on verra par exemple un maillage et sa déformée, ou un maillage et un champ scalaire (cf figure n° 10). De plus sur chacun de ces modes de représentation l'utilisateur a accès à un menu graphique lui permettant d'effectuer facilement certaines opérations élémentaires sur le dessin affiché à l'écran.

Ainsi on peut obtenir :

- des aggrandissements d'une partie du domaine: ZOOM +,
- des concentrations d'une partie du domaine: ZOOM -,
- des manipulations de plusieurs images grâce à l'empilage des caractéristiques des différentes vues affichées ce qui permet de les stocker et de les réimprimer rapidement,
- des impressions du dessin sur un autre terminal par un changement de périphérique. Ceci permet la ré-interprétation sur un autre terminal du dessin représenté à l'écran: SOFTCOPIE,
- une recopie de l'image affichée à l'écran sur un autre terminal: HARDCOPIE,

Les images couleurs fournies dans ce document sont obtenues par une hardcopie sur un tektronix 4693 à partir d'une image obtenue sur un apollo DN 4000.

- des interrogations du dessin. Suivant le type de représentation affichée on peut obtenir des précisions sur un point du maillage en le désignant à la souris. Ces indications peuvent être obtenues dans la fenêtre alphanumérique ou imprimées directement sur le dessin (cf figure n°12).

6. Emploi.

Les maillages sont contenus dans des structures de type NOPO ou MAIL et COOR (lorsque l'on a défini un ou plusieurs éléments finis sur ce maillage) et les solutions sont contenues dans des S.D de type B ou TAE.

Liste des préprocesseurs actuellement disponibles.

<u>Nom des préprocesseurs</u>	<u>Type</u>	<u>S. D</u>
TRNOXX	Visualisation d'un maillage et/ou de sa déformée	NOPO - B
ISOPXX	Visualisation d'un maillage et/ou représentation d'isovaleurs (isothermes, isobares, ..)	NOPO - B
TRMCXX	Visualisation d'un maillage et/ou représentation d'isovaleurs, d'une déformée, de coupe, de flux normal.	MAIL - COOR B
TRSTXX	Visualisation d'un maillage et/ou d'isothermes, de flux normal, des contraintes principales, d'isocontraintes.	MAIL - COOR TAE

Nous rappelons que ces différentes structures de données peuvent être construites très facilement à partir d'un ou plusieurs fichiers neutres. L'utilisateur doit disposer:

• d'un fichier décrivant un maillage qui doit contenir :

- le nombre d'éléments constituant ce maillage,
- le nombre de points formant ce maillage,
- et pour chacun des éléments:
 - son type géométrique (segment, carré, triangle, tétraèdre,.....)
 - les numéros des points le composant et pour chaque point ses coordonnées.

- . d'un fichier contenant les résultats numériques issu du calcul.

Ces résultats peuvent se présenter sous la forme d'une ou plusieurs valeurs situées en différents points, connus, de chaque élément.

B.II. VISUALISATION TRIDIMENSIONNELLE.

De même qu'au paragraphe II nous allons énumérer les différentes possibilités présentes dans ce cas. Des illustrations sont fournies en annexe.

1. Représentation d'un maillage.

Le maillage peut être constitué d'un ensemble quelconque d'éléments 3D composée de volumes (des hexaèdres, des pentaèdres, ou des tétraèdres), de surfaces (des triangles ou des quadrangles), d'éléments lineiques (des segments).

Un mode automatique d'affichage de l'objet initialise un point regardé, qui est le centre de gravité de l'objet, et un point d'observation défini tel que l'objet soit vu en entier sous un angle d'ouverture O_u , un angle de visée (ou longitude) V_i et avec une élévation (ou latitude) E_l . A l'initialisation: $O_u = 5$ degrés, $V_i = 30$ degrés, $E_l = 30$ degrés.

A partir de cet état initial diverses possibilités existent pour représenter:

- tous les éléments du maillage,
- les arêtes de la peau, en mode fil de fer (cf figure n°11),
- les faces visibles ou invisibles (algorithme du peintre) (cf figure n° 13),
- une partie référencée du maillage par sélection d'un ou plusieurs numéros de référence de face (cf figure n°12),
- les numéros des points, des noeuds ou ceux des éléments,
- les numéros de référence des points, des noeuds, des arêtes, des faces,
- les numéros de sous-domaine (cf figure n°14),
- l'objet en stéréoscopie à condition que le terminal dispose de plus de 264 couleurs et du mode borrow.

Pour ces différents types de présentation on peut effectuer des rétrécissements des faces autour de leur centre de gravité (shrink) et jouer sur la planéité de l'objet en réglant un coefficient pour éliminer les arêtes coplanaires.

L'utilisateur peut aussi faire varier l'angle de représentation de l'objet, en choisissant la position de l'observateur et du point observé ou en modifiant les paramètres décrits ci-dessus: la longitude, la latitude et l'angle d'ouverture.

2. Représentation d'un champ scalaire.

. Visualisation d'un champ scalaire sous la forme d'isovaleurs. Ces isovaleurs sont par défaut représentées sur tout ou partie de la peau de l'objet aux traits ou en remplissage de zone (cf figure n° 15). L'option remplissage est effective uniquement pour des représentations sur la peau visible ou invisible de l'objet.

Les possibilités offertes dans le cas 3D sont équivalentes à celles du cas 2D:

- réglage du nombre d'isovaleurs à dessiner,
- choix du spectre de couleur,
- choix de l'intervalle des valeurs à représenter ou donnée de ces valeurs,
- association d'une couleur à une valeur,
- marquage des isovaleurs

- pointage des isovaleurs avec impression facultative de la valeur sur le dessin (cf figure n°16),
- représentation des isovaleurs dans un plan de coupe (cf figure n° 17).

3. Représentation d'un champ vectoriel

- Visualisation du vecteur déplacement par le dessin de la déformée du maillage.

Comme pour le maillage on peut représenter tout ou partie de la déformée. De même on peut afficher simultanément ou non le maillage avec les options citées précédemment. Le choix des options utilisées pour voir la déformée est indépendant de celui de celles choisies pour dessiner le maillage (cf figure n° 14).

Le rapport de déformation est initialisé par défaut et peut être modifié.

- Visualisation d'un champ de vitesse.

La représentation des vitesses est symbolisée par le dessin de flèches qui indiquent la direction et l'intensité des vecteurs. Ces dessins sont faits sur tout ou partie de la peau de l'objet (cf figure n°19). La longueur maximale des flèches, associée à la plus grande intensité, et la forme des flèches sont modifiables.

4. Options communes

En dehors de ces possibilités offertes dans la fenêtre alphanumérique certaines options sont possibles directement dans la fenêtre graphique.

Ces options sont communes aux différents modes de représentation cités ci-dessus. On peut :

- déplacer l'observateur d'un angle fixe vers la droite, la gauche, vers le haut, ou le bas en tapant dans la fenêtre graphique respectivement une des lettres D, G, H ou B.
- éloigner ou rapprocher l'objet d'une distance fixée en tapant soit + soit -.
- effectuer des aggrandissements (zoom) après saisie de deux points sur l'écran pour définir la zone à aggrandir.
- empiler les différentes vues et réafficher comme en 2D les vues précédentes ou suivantes.
- couper l'objet par un plan. Ce plan est défini soit par la saisie de trois points à la souris, au clavier, ou par la donnée de l'équation du plan. Sur ce plan de coupe on peut représenter les isovaleurs d'un champ scalaire (cf figure n° 17), les vitesses d'un champ vectoriel (cf figure n° 20), ou la coupe d'un maillage ou d'une déformée.

Pour chacune des représentations citées ci-dessus l'utilisateur peut désigner un point de la peau afin de connaître la valeur du champ scalaire ou vectoriel en ce point. Cette valeur apparaît sur le dessin (cf figure n°16) soit par la valeur du champ soit par l'impression d'une flèche en mode vitesse.

5. Emploi

Ces différentes visualisations sont obtenues à partir de la donnée d'un maillage contenu dans une S.D de type NOPO ou MAIL et COOR, (lorsque l'on a défini un élément fini sur ce maillage), et d'un champ scalaire ou vectoriel dont les valeurs sont données aux noeuds des éléments, cette solution est contenue dans une S.D

de type B.

Ci-dessous nous citons le nom des préprocesseurs actuellement disponibles.

<u>préprocesseur</u>	<u>type de visualisations</u>	<u>S.D</u>
TRNOXX	visualisations d'un maillage et/ou de sa déformée	NOPO - B
COUPXX	coupe d'une solution et représentation d'isovaleurs dans le plan de coupe	NOPO - B
TRC3XX	visualisation d'un maillage et/ou de sa déformée, d'isovaleurs, de vitesse. coupe dans l'espace	MAIL - COOR B

Nous rappelons que ces différentes structures de données peuvent être très facilement construites à partir de fichiers neutres (voir II-5).

B.III. UTILITAIRES SPECIFIQUES

D'autres préprocesseurs plus spécifiques existent également.

1. Tracé du profil d'une matrice

A partir d'une matrice donnée sous forme skyline, on stocke toutes les valeurs d'une ligne à partir de la première non nulle jusqu'à la diagonale. (cf figure n° 23) ou morse, on stocke que les valeurs non nulles (cf figure n° 22) on peut représenter le profil de la matrice.

2. Tracé de courbes $y = f(x)$:

Ce programme permet de tracer une ou plusieurs courbes sur un même dessin (cf figure n° 25) à partir d'un fichier formaté contenant :

le nombre de courbes : nbc
 pour chacune des courbes : de $i=1$ à nbc
 le nombre de points de mesure: nbpm
 de $j=1$ à nbpm : valeur du $j^{\text{ème}}$ point de mesure sur l'axe des abscisses
 de $j=1$ à nbpm : valeur du $j^{\text{ème}}$ point de mesure sur l'axe des ordonnées
 fin de la boucle en i sur le nombre de courbes.

Plusieurs options existent:

- dessin de la courbe aux traits ou/et par des symboles en chacun des points de mesure,
- définition du type de tracé: échelle linéaire ou logarithmique sur un ou sur les deux axes (cf figure n°24),
- définition d'une graduation des axes et de l'intervalle de valeurs des axes,
- définition d'une légende: générale, sur les axes, sur chaque courbes.

3. Tracé d'une application de R^2 dans R^3 $z = f(x,y)$.

Différentes possibilités sont offertes à l'utilisateur pour définir cette fonction qui peut être:

- entrée au clavier sous la forme $f(x,y)$ = fonction de x et y
- donnée comme une FUNCTION FORTRAN
- décrite à l'aide d'un tableau de valeurs $T(NX,NY)$ stocké sur fichier
- construite à partir de résultats d'éléments finis par interpolation.

On obtient une représentation tridimensionnelle de la fonction (cf figure n°26) en utilisant un algorithme de ligne cachée du à Williamson. La surface est représentée à l'aide de lignes ou d'une grille.

4. Tracé des points caractéristiques d'un maillage

A partir du mot clés **POINT** contenu dans un fichier utilisé pour générer un maillage 2D, on représente la position des points dans le plan.

5. Options communes

Dans la fenêtre graphique on a toujours accès aux options de :

- ZOOM
- softcopie-hardcopy
- vue précédente, vue suivante

6. Liste des préprocesseurs.

<u>préprocesseurs</u>	<u>Type de visualisation</u>	<u>S.D</u>
TRPRXX	tracé de profil de matrices	AMAT - MUA
TRACXX	tracé de courbes	fichier formatté
VIS3XX	visualisation d'une fonction ou d'un champ scalaire	NOPO - B ou fonctions
TRPOXX	tracé des points	fichier formatté de apnopo

C. IMPLEMENTATION ET DEVELOPPEMENTS EN COURS.

Ces différents outils sont à la disposition de tous les membres du club MODULEF et de l'ensemble des projets de l'INRIA.

Pour les utiliser sur votre site vous devez implémenter l'interface entre FORTRAN 3D et les logiciels graphiques dont vous disposez. Cet interface est appelé un périphérique. Un certain nombre de ces périphériques existent déjà dans MODULEF. Citons notamment les périphériques:

APOLLO	SUNCORE	GKS -PLOT10
METAFILE GKS	PLOT10	TEKTRONIX 4014, 4105, 4107
POSTSCRIPT	VERSATEC couleur	TABLE TRACANTE HP-GL
IBM GDDM	

Nous espérons que l'ensemble de ces outils répondra à vos besoins et nous

pouvons collaborer avec vous pour les faire évoluer dans des directions restant à définir ou pour écrire des types de représentation que nous n'avons pas pris en compte dans les différents domaines qui nous concernent.

Les développements en cours concernent la mise au point d'outils permettant le multi-fenêtrage et la prise en compte de plusieurs objets simultanément (cf figure n°27) ainsi qu'au développement de menu graphique déroulant (cf figure n° 28) afin d'améliorer la convivialité des préprocesseurs.

Pour plus de renseignements, nous vous renvoyons aux documentations techniques citées en bibliographie.

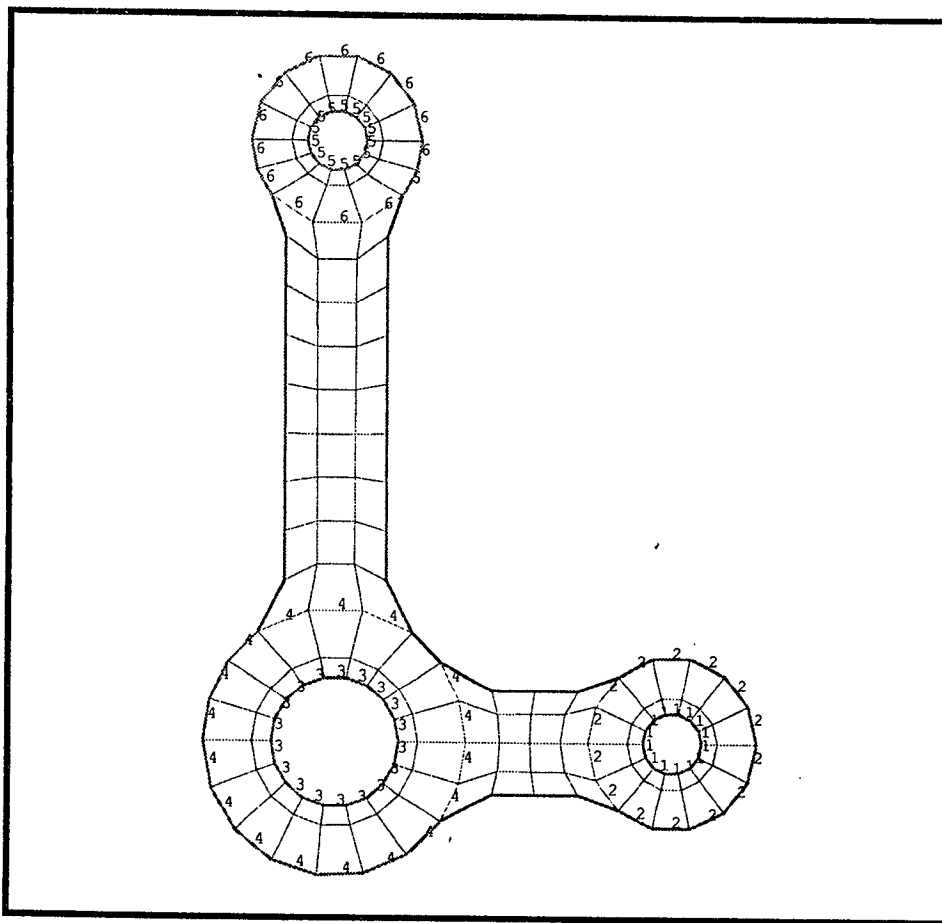
La réalisation de ces outils est due à l'ensemble du projet MODULEF avec l'aide de A. Golgolab, stagiaire dans le projet MODULEF, à A. Marrocco du projet MENUSIN; ils comprennent également une contribution de RENAULT DMPB/0954.

D.EXEMPLES

figure N° : Représentation

- 1 Maillage d'un objet 2D avec affichage des numéros de références des arêtes.
- 2 Zoom sur un maillage bidimensionnel avec shrink des éléments.
- 3 100 isovaleurs par remplissage de zones.
- 4 100 isovaleurs aux traits
- 5 Isobares, sur une partie du maillage de la figure n° 3, entre deux valeurs avec affichage de la pression aux points désignés par l'utilisateur.
- 6 Coupe du champ scalaire représenté sur la figure n° 4 le long d'une droite horizontale.
- 7 Flux de température normal aux arêtes.
- 8 Champ de vitesse.
- 9 Interprétation d'un tenseur de contraintes par un critère de Tresca.
- 10 Visualisation du contour géométrique de la pièce initiale et du maillage de la pièce après déformée.
- 11 Visualisation de la toute la peau d'un objet 3D avec élimination des arêtes communes aux faces coplanaires.
- 12 Visualisation de la peau visible d'une partie référencée de l'objet de la figure n° 11
- 13 Shrink des faces visibles.
- 14 Zoom et impression des n° de références des faces.
- 15 Dessin des faces visibles de l'objet et de toutes les faces de sa déformée avec élimination des arêtes coplanaires.

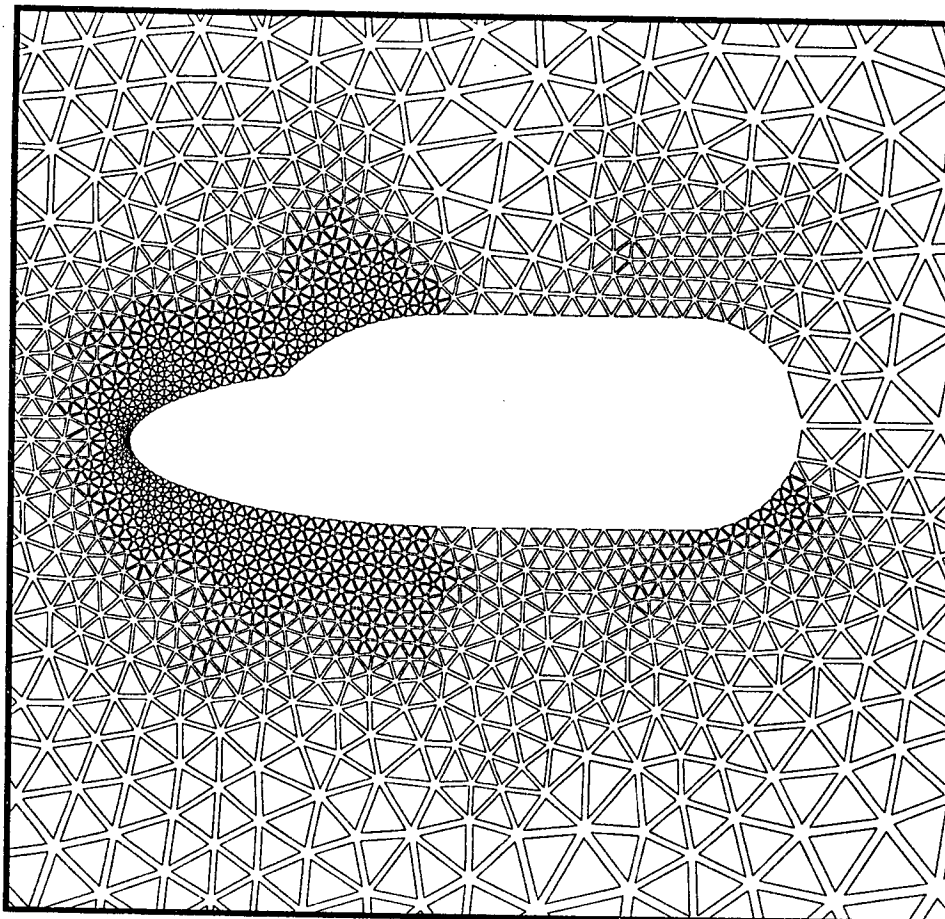
- 16 Représentations des isovaleurs sur la peau vue par l'observateur.
Ces isovaleurs représentent la contrainte microscopique σ_{11} associée à la contrainte macroscopique $\Sigma_{11} = 100$ issue d'un problème de matériaux composites.
- 17 Isothermes avec affichage de la température en différents points désignés par l'utilisateur.
- 18 Identique la figure n° 17 mais dans un plan de coupe.
La table de valeurs-couleurs est la même pour les deux figures.
- 19 Trois plans d'isovaleurs dans l'objet.
- 20 Champ de vitesse.
- 21 Zoom sur le champ de vitesse.
- 22 Profil d'une matrice symétrique stockée sous forme MORSE .
- 23 Profil d'une matrice symétriques stockée sous forme SKYLINE.
- 24 Dessin simultanée de quatre courbes.
Avec définition d'une échelle logarithmique sur chacun des axes.
- 25 Courbe de croissance du nombre de membres du club MODULEF.
- 26 Représentation tridimensionnelle de la fonction $F(X,Y)=X^2+Y^2-2$
- 27 Exemple de multi-fenêtrage.
- 28 Exemple de menu déroulant.



185	POINTS
185	NOEUDS
135	ELEMENTS
135	QUADRANGLES

REFERENCE (ARETE)

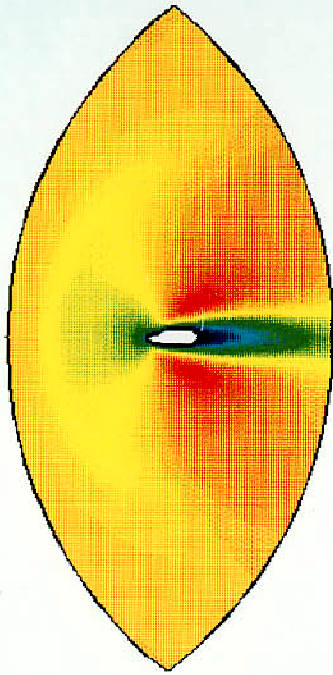
1 Maillage d'un objet 2D avec affichage des numéros de références des arêtes.



1883	POINTS
1883	NOEUDS
3606	ELEMENTS
3606	TRIANGLES

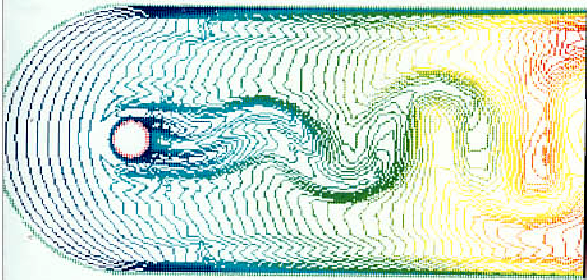
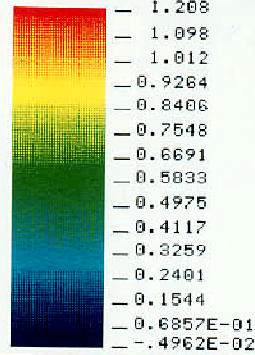
2 Zoom sur un maillage bidimensionnel avec shrink des éléments.

3 100 isovaleurs par remplissage de zones.



1888 POINTS
1888 NOEUDS
3606 ELEMENTS
3606 TRIANGLES

INCONNUE : 1



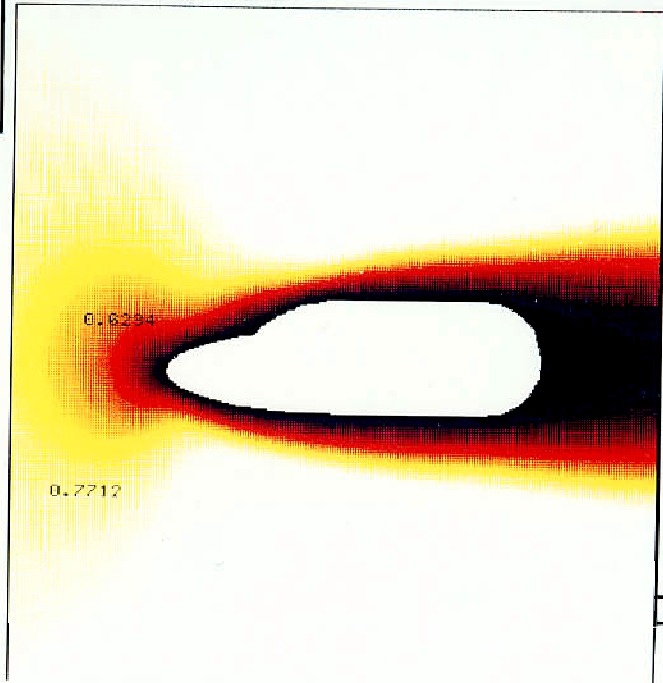
731 POINTS
2782 NOEUDS
660 ELEMENTS
660 QUADRANGLES

4 100 isovaleurs

aux traits

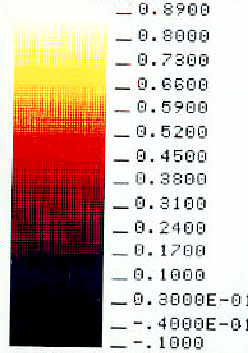
INCONNUE : 1

50 14.37
48 13.78
45 12.90
42 12.02
39 11.14
36 10.26
33 9.385
30 8.505
27 7.625
24 6.746
21 5.866
18 4.986
15 4.106
12 3.226
9 2.346
6 1.466
3 0.5866
1 0.1066E-06



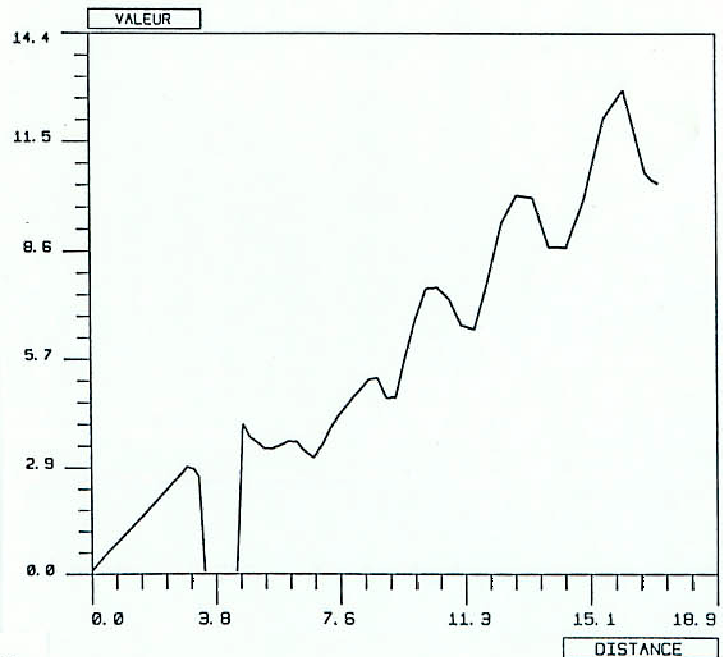
1888 POINTS
1888 NOEUDS
3606 ELEMENTS
3606 TRIANGLES

INCONNUE : 1

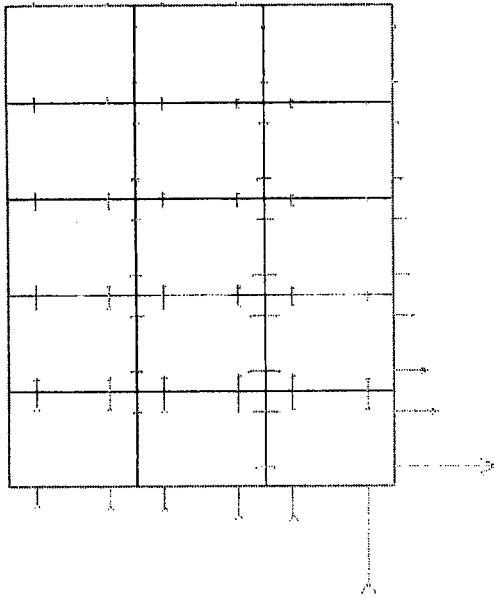


100 ISOVALEURS

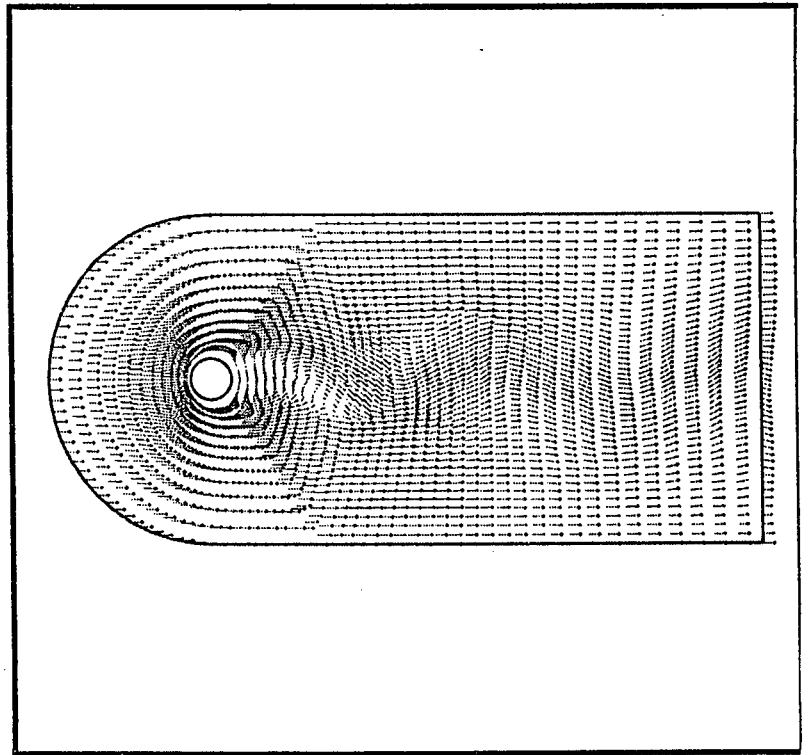
5 Isobares, sur une partie du maillage de la figure n° 3, entre deux valeurs avec affichage de la pression aux points désignés par l'utilisateur.



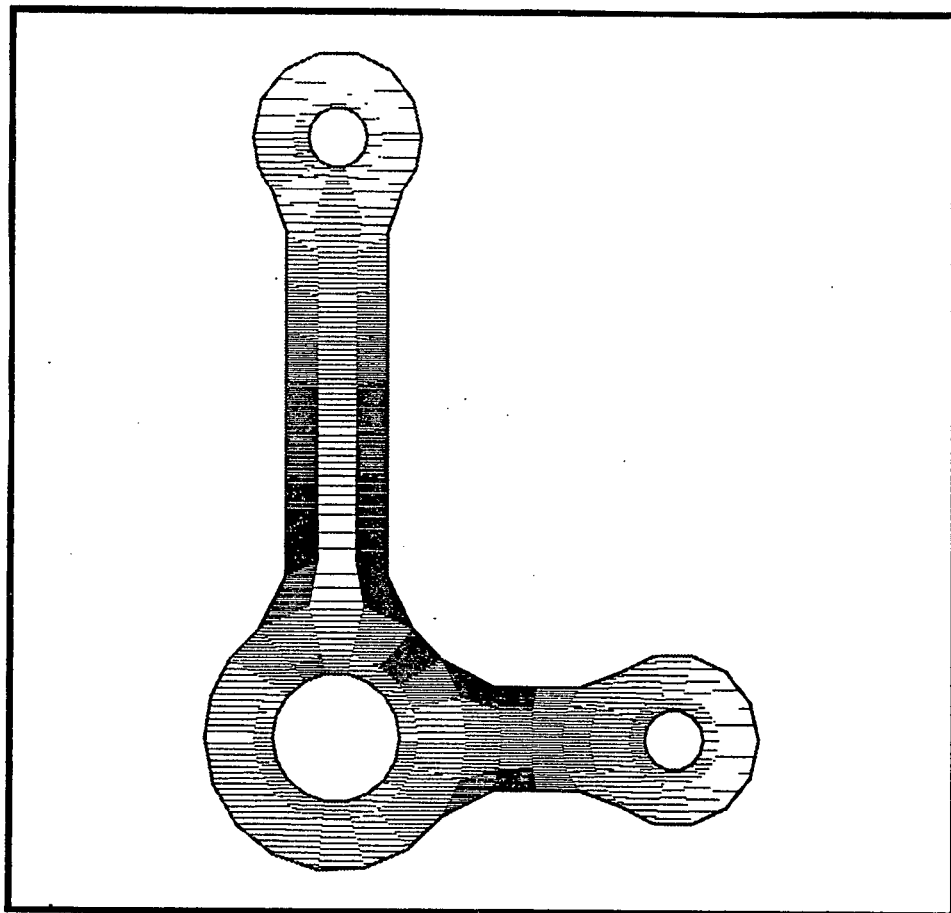
6 Coupe du champ scalaire représenté sur la figure n° 4 le long d'une droite horizontale.



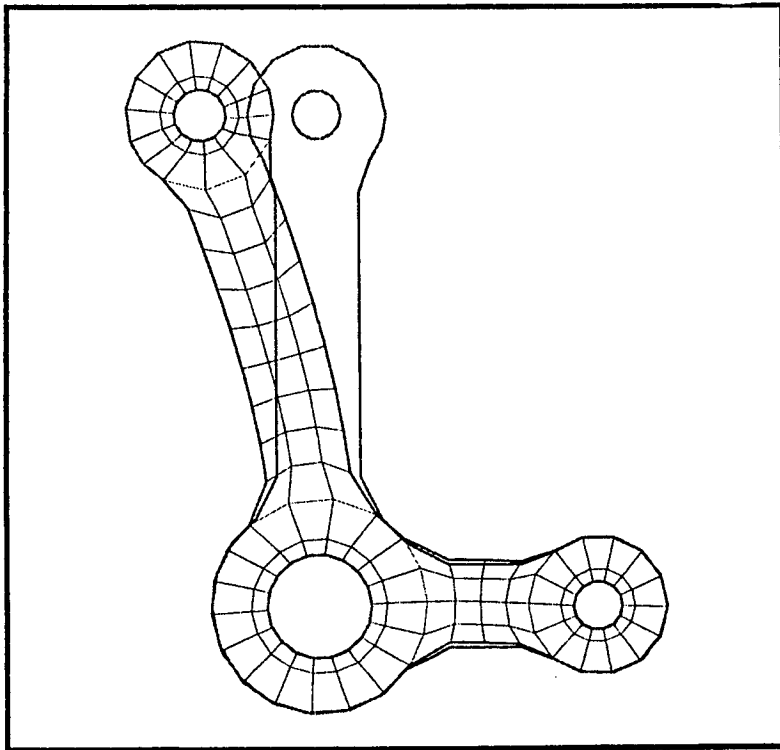
7 Flux de température normal aux arêtes.



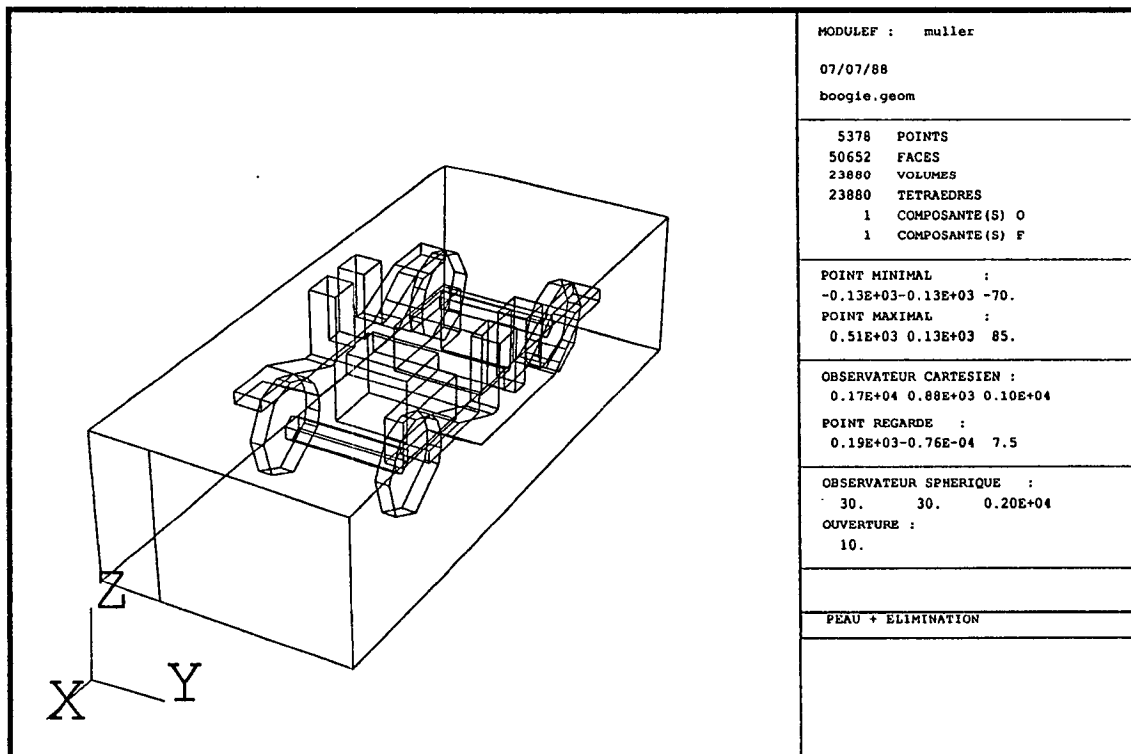
8 Champ de vitesse.



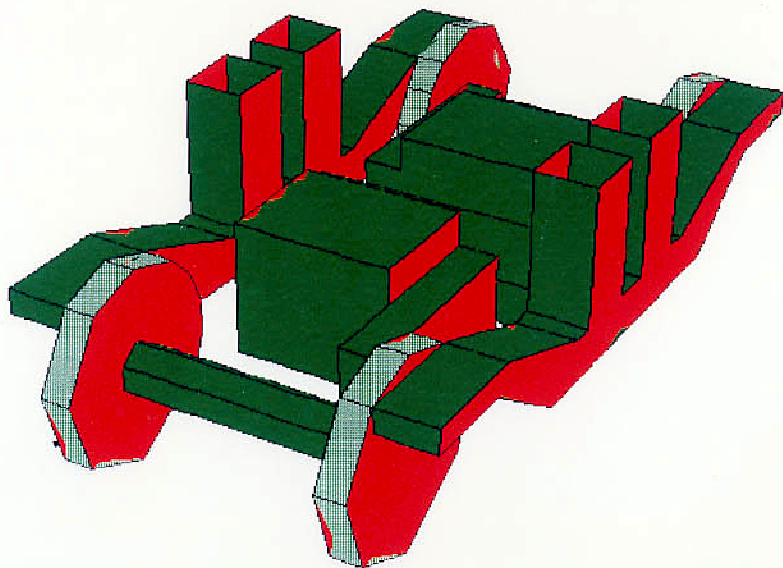
9 Interprétation d'un tenseur de contraintes par un critère de Tresca.



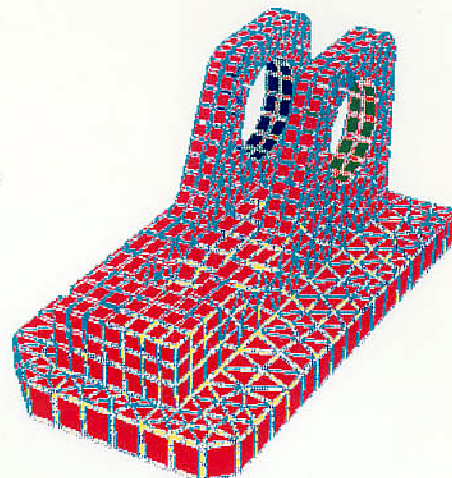
- 10 visualisation du contour géométrique de la pièce initiale et du maillage de la pièce après déformée.



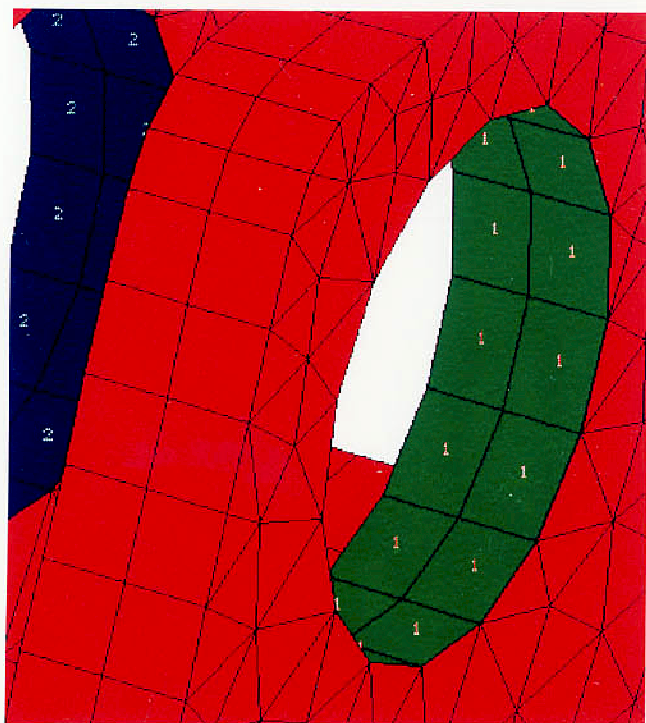
- 11 visualisation de la toute la peau d'un objet 3D avec éllimination des arêtes communes aux faces coplanaires.



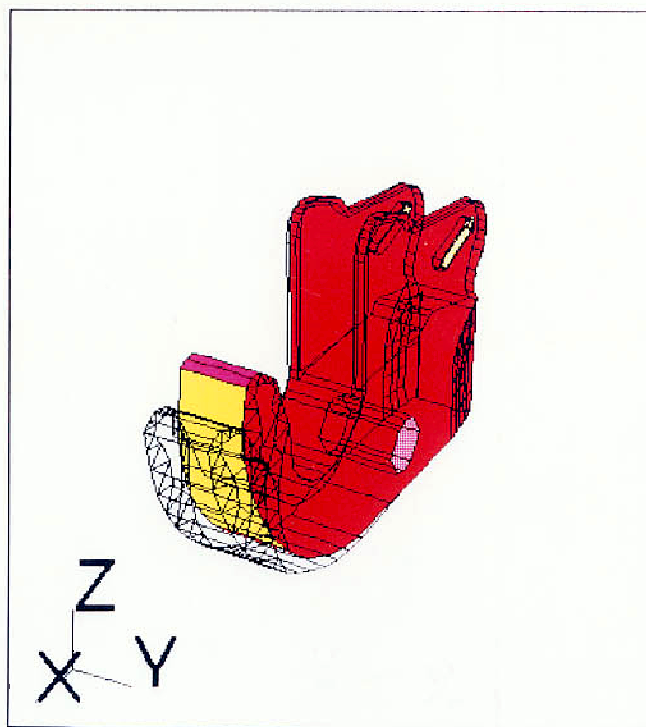
12 Visualisation de la peau visible d'une partie référencée de l'objet de la figure n° 11



13 Shrink des faces visibles.

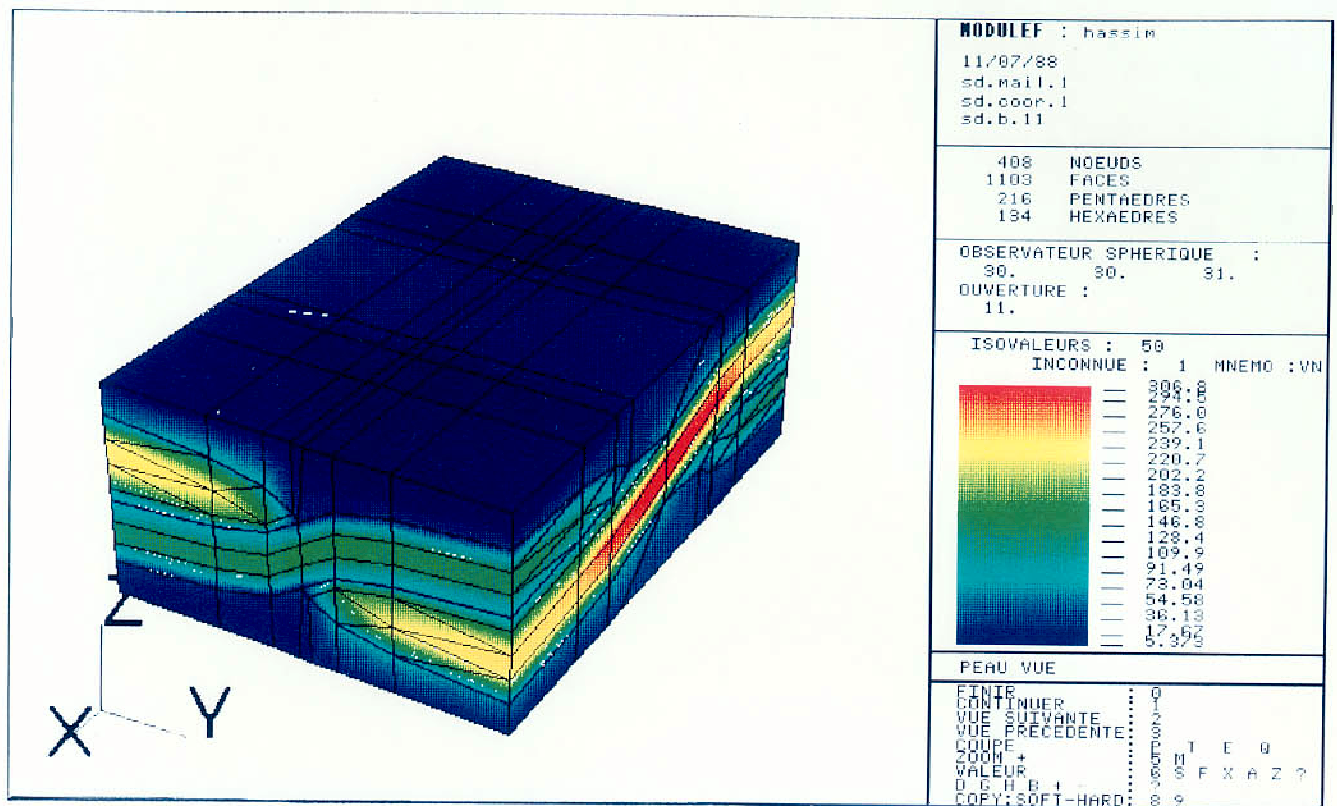


14 Zoom et impression des n° de références des faces.

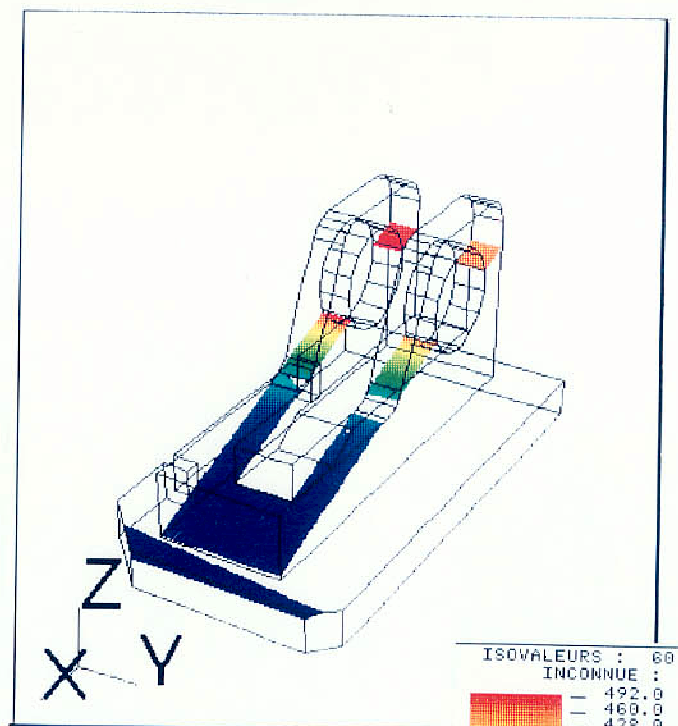
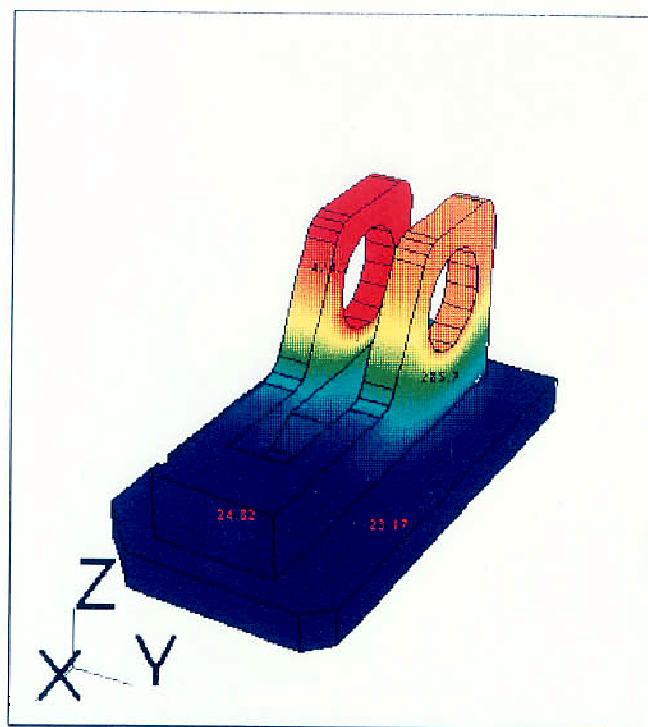


1706	NOEUDS
6018	FACES
1940	PENTAEDRES
72	HEXAEDRES

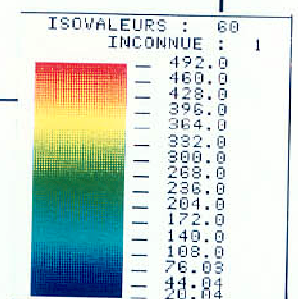
15 Dessin des faces visibles de l'objet et de toutes les faces de sa déformée avec élimination des arêtes coplanaires



16 Représentations des isovaleurs sur la peau vue par l'observateur. Ces isovaleurs représentent la contrainte microscopique σ_{11} associée à la contrainte macroscopique $\Sigma_{11}=100$ issue d'un problème de matériaux composites.

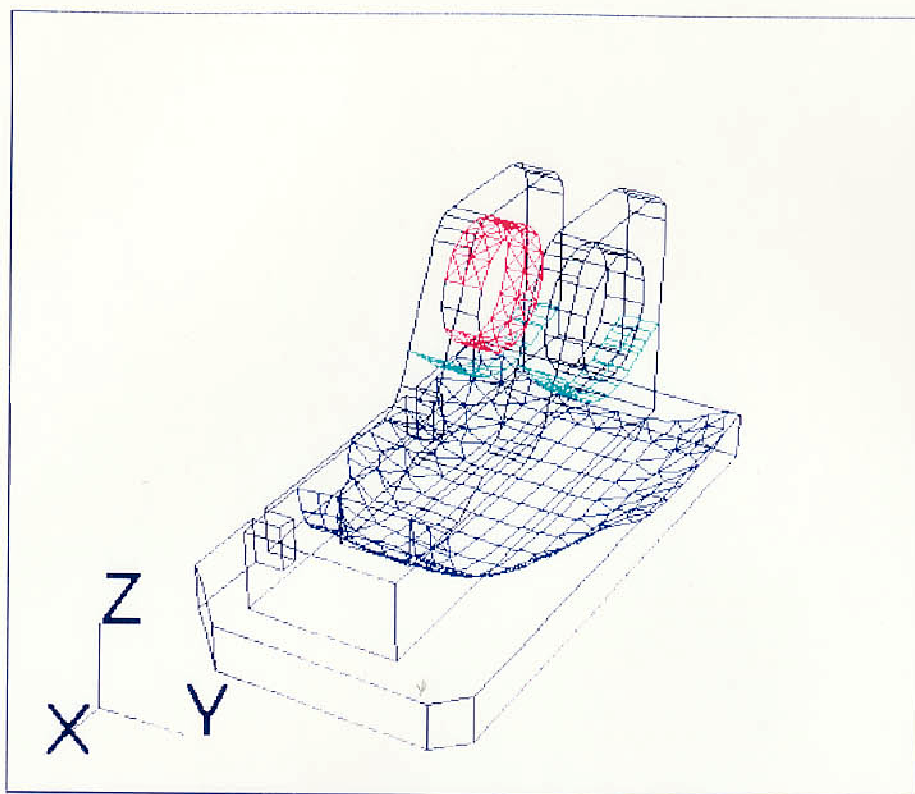


1226 NOEUDS
 3857 FACES
 1059 PENTAEDRES
 154 HEXAEDRES

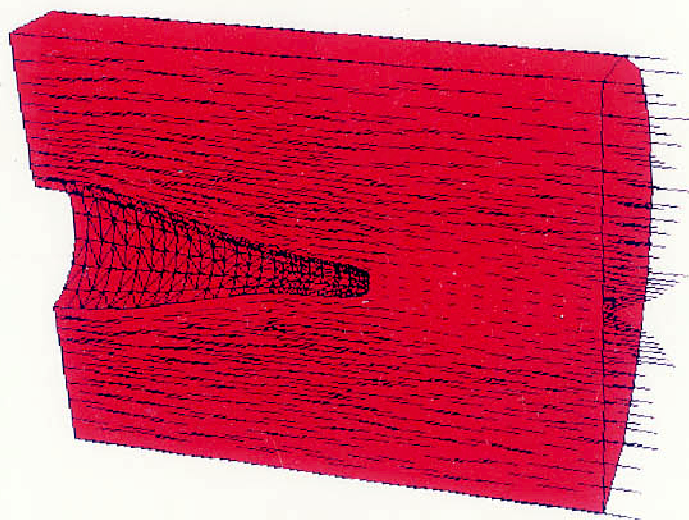


17 Isothermes avec affichage de la température en différents points désignés par l'utilisateur.

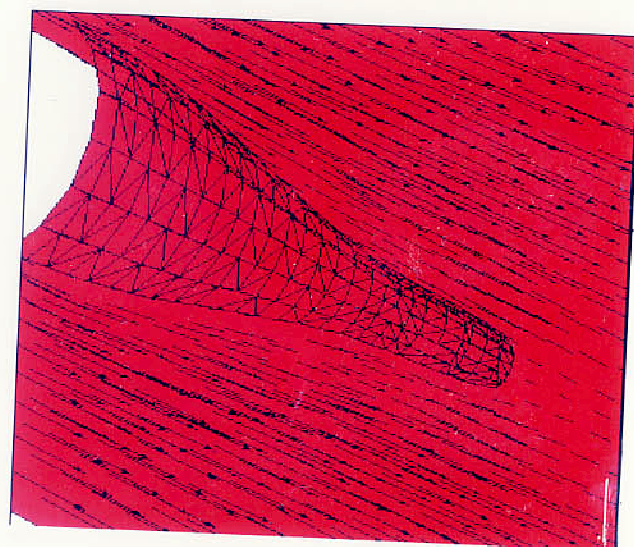
18 Identique la figure n° 17 mais dans un plan de coupe.



19 Trois plans d'isovaleurs dans l'objet.

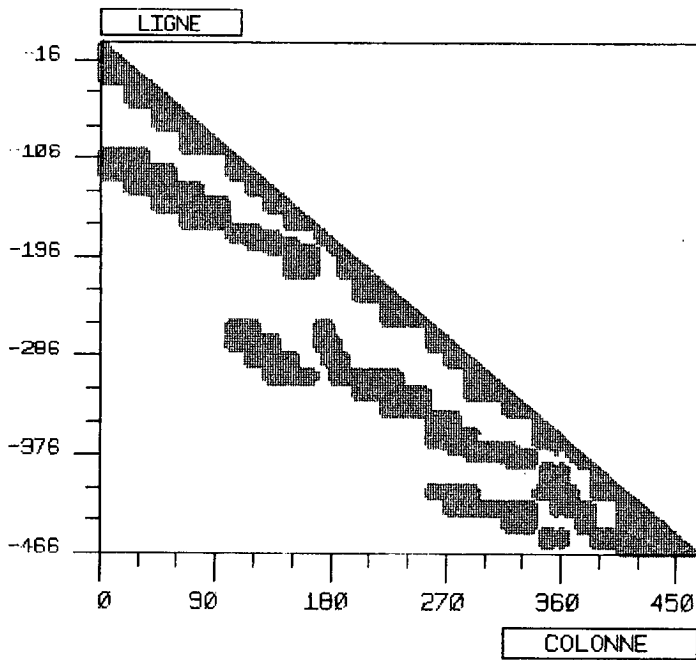


20 Champ de vitesse.

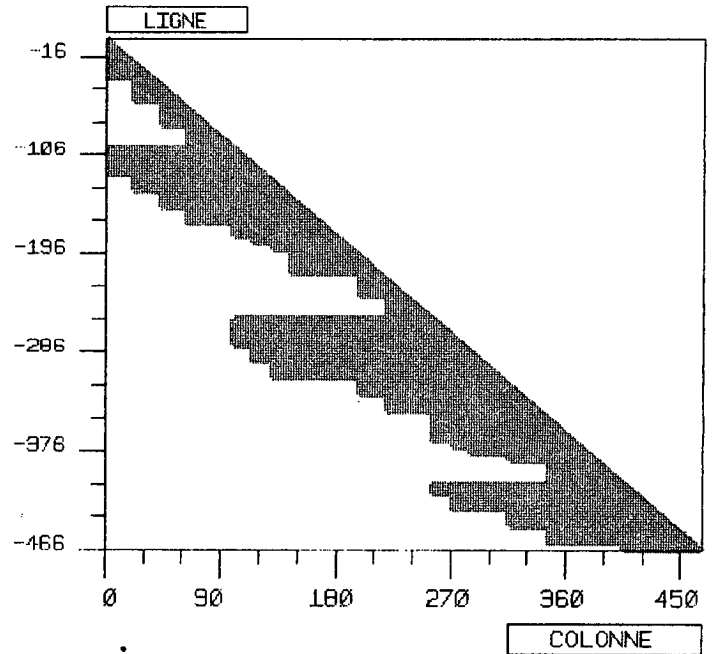


21 Zoom sur le champ de vitesse.

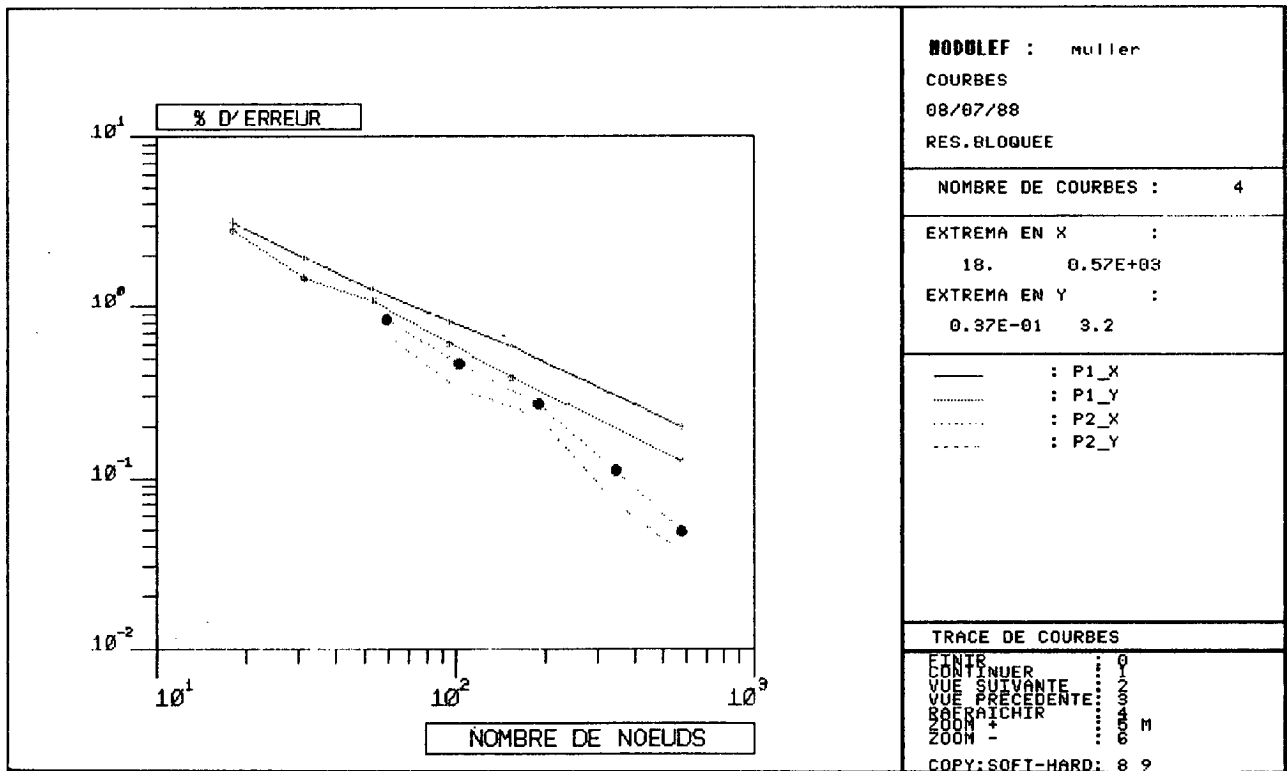
Profil d'une matrice symétrique



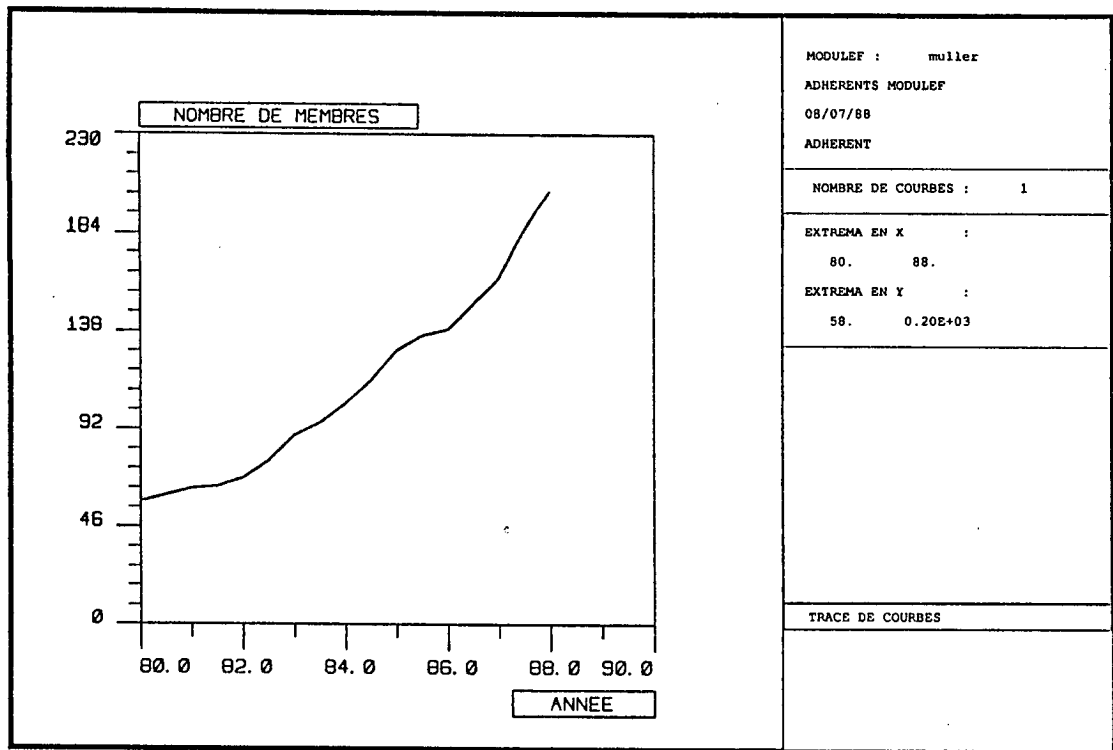
22 Stockée sous forme MORSE



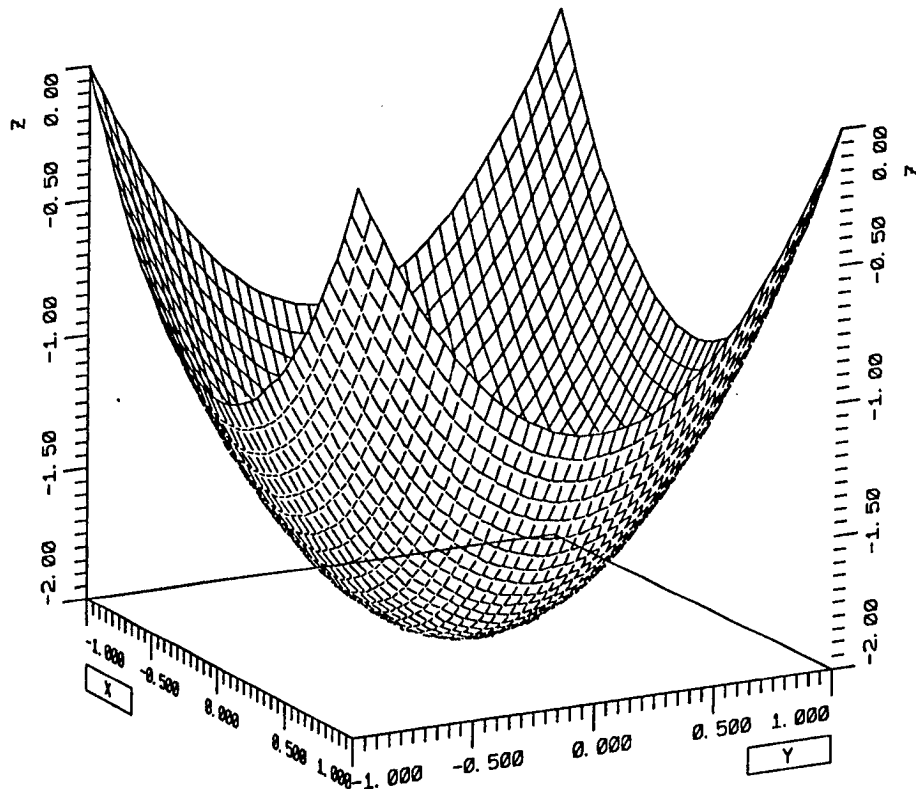
23 Stockée sous forme SKYLINE



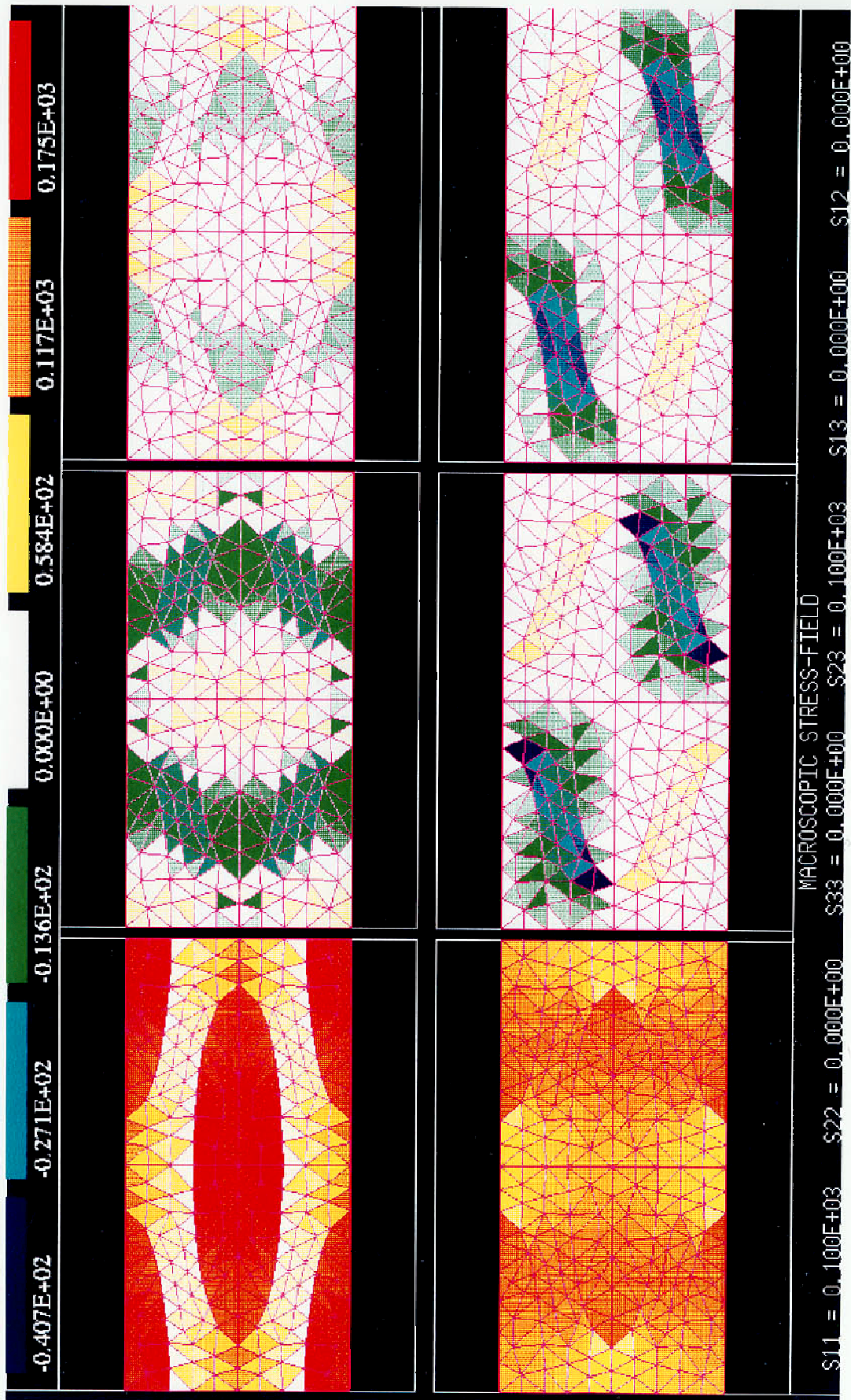
24 Dessin simultanée de quatre courbes.
Avec définition d'une échelle logarithmique sur chacun des axes.

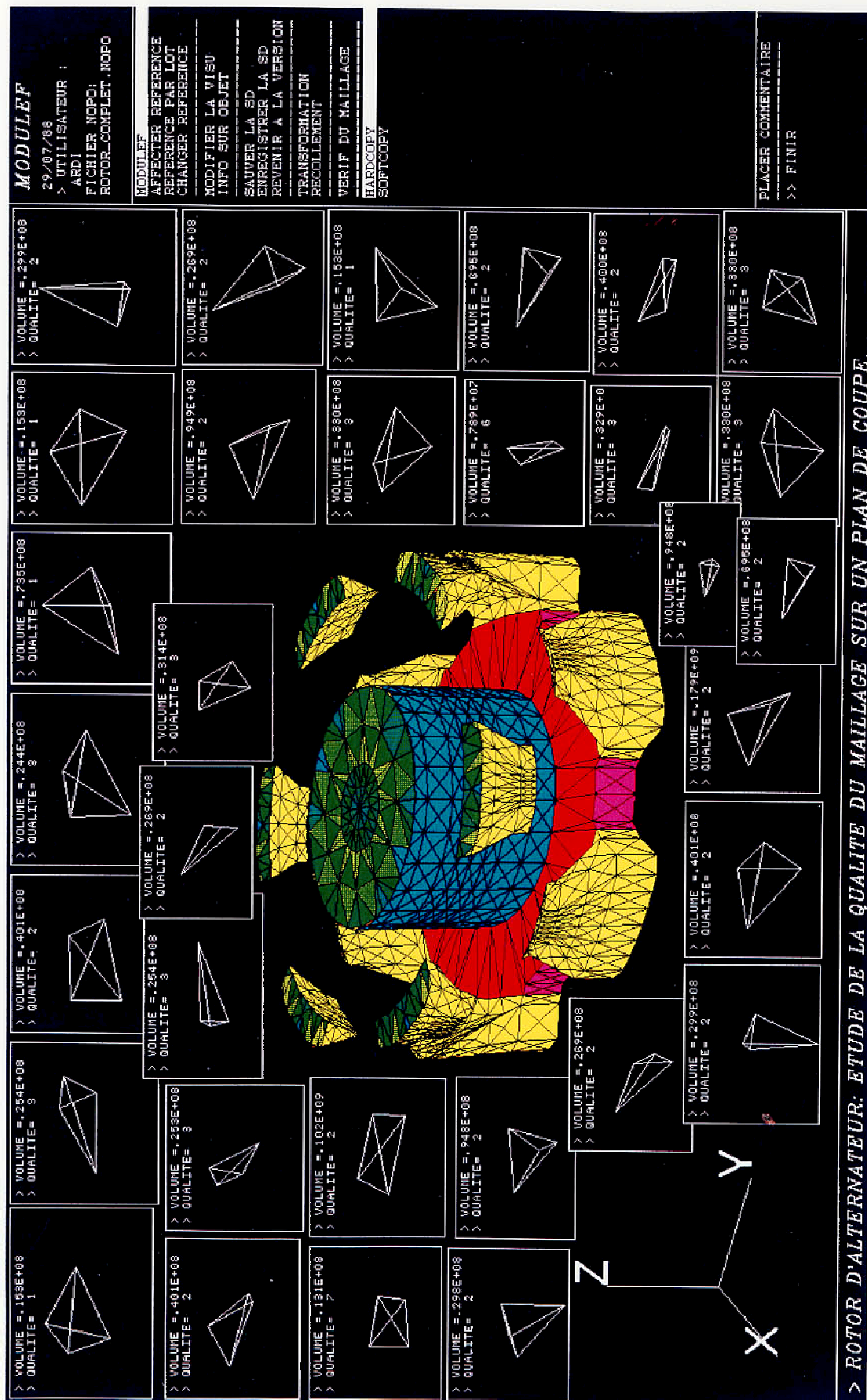


25 Courbe de croissance du club MODULEF.



26 Représentation tridimensionnelle de la fonction $F(X,Y)=X^2+Y^2-2$





BIBLIOGRAPHIE

- [1] - M. BERNADOU et AL., " Une bibliothèque modulaire d'éléments finis", INRIA, mai 1985
- [2] - A. PERRONNET, "Description des structures de données du club MODULEF" ,Documentation MODULEF, N° 2, 1987
- [3] - P.L GEORGE, A. GOLGOLAB, B. MULLER, E. SALTEL, "utilisation du logiciel FORTRAN 3D" , Documentation MODULEF, N° 47,Avril 1988
- [4] - P.L GEORGE, B. MULLER, E. SALTEL, "Aspects graphiques", Documentation MODULEF, N° 96, Avril 1987
- [5] - A. MARROCCO, "Manuel d'utilisation de VIS3D"